

**ESTIMACIÓN DE VOLÚMENES REMOVIDOS Y ANÁLISIS MULTITEMPORAL
EN LA EVOLUCIÓN DEL DESLIZAMIENTO LOCALIZADO EN LA VÍA QUE
COMUNICA AL MUNICIPIO DE BUENAVISTA CON LA VEREDA EL CARMEN
EN EL DEPARTAMENTO DEL META**



SANDRA VIVIANA PALACIOS PRIMERO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

ESPECIALISTA EN GEOMÁTICA

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA

BOGOTÁ D.C.

JUNIO DE 2018

ESTIMACIÓN DE VOLÚMENES REMOVIDOS Y ANÁLISIS MULTITEMPORAL EN LA EVOLUCIÓN DEL DESLIZAMIENTO LOCALIZADO EN LA VÍA QUE COMUNICA AL MUNICIPIO DE BUENAVISTA CON LA VEREDA EL CARMEN EN EL DEPARTAMENTO DEL META

ESTIMATION OF REMOVED VOLUMES AND MULTI-TIMER ANALYSIS IN THE EVOLUTION OF THE SLIDES LOCATED ON THE ROAD THAT COMMUNICATES THE MUNICIPALITY OF BUENAVISTA WITH THE CARMEN VEREDA IN THE META DEPARTMENT

Sandra Viviana Palacios Primero¹

RESUMEN

A través del tiempo se ha incrementado el uso y aplicación de las tecnologías geoespaciales para el control y seguimiento de los procesos evolutivos que se presentan día a día en la corteza terrestre, dando como resultado el planteamiento y desarrollo de diversas metodologías para el tratamiento de imágenes satelitales y uso de modelos digitales del terreno. En el presente artículo se presenta una metodología que permite estimar el volumen de aporte de sedimentos al río Guayuriba, así como la evolución del retroceso de la cárcava localizada en la vía a la Vereda El Carmen. Para el cálculo del volumen de remoción en masa, se emplearon modelos digitales del terreno ALOS PALSAR de los años 2007 y 2010 con resolución espacial de 12.5 metros, dando como resultado un aporte de 97.000 m³ de material aportado por año. Para el análisis multitemporal se emplearon imágenes satelitales Landsat 5 ETM del año 1989 y Landsat 8 OLI-TIRS del año 2015, las cuales permitieron identificar la evolución del deslizamiento y erosión remontante en la cárcava del caso de estudio.

Palabras clave: Imagen satelital, modelo digital de elevación, análisis multitemporal, estimación de volumen.

ABSTRACT

Over time, the use and application of geospatial technologies has increased to control and monitor the evolutionary processes that occur in a day in the earth's crust, resulting in the approach and development of various methodologies for the treatment of satellite images and use of digital terrain models. In the present article a methodology is presented that allows to estimate the volume of sediment contribution to the Guayuriba river, as well as the evolution of the retreat of the gully located on the road to the Vereda El Carmen. For the calculation of mass removal volume, digital models of the ALOS PALSAR plot were used in 2007 and 2010 with a spatial resolution of 12.5 meters, resulting in a contribution of 97,000 m³ of material contributed per year. For the multi-temporal analysis, Landsat 5 ETM satellite images from the year 1989 and Landsat 8 OLI-TIRS from 2015 were used,

¹ Ingeniera Topográfica, Estudiante Especialización en Geomática, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia, u3101403@unimilitar.edu.co

which allowed us to identify the evolution of the receding landslide and erosion in the gully of the case study.

Keywords: Satellite image, digital elevation model, multitemporal analysis, volume estimation.

INTRODUCCIÓN

La superficie terrestre está sujeta a diversas modificaciones y múltiples cambios, ya sean naturales o que estén asociados a diversas circunstancias como las fuertes precipitaciones o exposición a procesos antrópicos. Estos cambios o eventos ocurren bajo la corteza terrestre y su representación en el terreno se verá reflejada en mayor o menor medida de acuerdo con la influencia de factores y elementos que condicionan el cambio geométrico y topográfico en un área determinada.

En Colombia, se presentan diferentes sectores que se encuentran bajo la influencia constante de factores tectónicos, climáticos y antrópicos que modifican la superficie terrestre, los cuales han sido objeto de estudio por entidades que realizan investigaciones científicas a nivel nacional, regional y local proporcionando información útil y de fácil acceso para todo público. Es así, como el piedemonte llanero ha llamado la atención por presentar importantes procesos de deslizamientos y remoción en masa los cuales han afectado a la población circunvecina, no sólo en temas vitales sino en infraestructura de vivienda y vías (carreteras principales y secundarias), interrumpiendo la comunicación de los habitantes de las veredas o municipios con los focos departamentales vecinos.

Estos estudios han logrado identificar los fenómenos más importantes y que tienen mayor influencia en los cambios morfodinámicos en el piedemonte llanero, como son:

Actividad sismotectónica: El departamento del Meta se encuentra localizado en el cratón suramericano, donde, en ocasiones se observan fallamientos en la cuenca de antepaís del Piedemonte Llanero, asociados con la reactivación de antiguos accidentes

(Taboada, 1998), convirtiéndola en una de las zonas más activas del país.

Condiciones climáticas propias de la región: Villavicencio presenta constantes y fuertes lluvias, las cuales afectan la estabilidad de los materiales y componentes de las capas superficiales de las laderas y montañas, generando grandes volúmenes de material removido por deslizamientos de la superficie terrestre.

Formación de deslizamientos: El aumento de estos cambios morfodinámicos, elevan la posibilidad de deslizamientos en las zonas montañosas, generando grandes procesos de remoción en masa que afectan el traslado y comunicación por las vías existentes de los habitantes con otros lugares, así como la afección de redes de acueducto o electricidad, sin dejar de lado la afectación vital a la que está expuesta la población ubicada en estos sitios.

El análisis de estos comportamientos está relacionado con las ramas de la ciencia como la geología, geomorfología y morfología terrestre, las cuales permiten determinar mediante estudios descriptivos y herramientas tecnológicas la interpretación de los fenómenos que se manifiestan en la superficie terrestre, complementando el análisis de éstos desde la perspectiva de cualquiera de estas ramas. Es por esto, que se ha incentivado el estudio de este tipo de fenómenos con múltiples objetivos como son el ordenamiento territorial, análisis morfodinámicos y cambios en la superficie terrestre, prevención de desastres, etc., ofreciendo una óptica diferente y proporcionando nuevas alternativas en la interpretación y solución de este tipo de fenómenos.

El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Tecnologías Geoespaciales ha mejorado la percepción y anticipación de la

ocurrencia de desastres, pero se hace necesario avanzar en la aplicación y uso de las tecnologías que han evolucionado a través del tiempo, para que los científicos y profesionales apliquen las herramientas necesarias en el estudio y análisis de los procesos morfodinámicos del país como lo son los deslizamientos o procesos de remoción en masa que ocurren de manera frecuente.

Dado lo anterior, en este artículo se pretende mostrar una metodología que permita, a través del uso de aerofotografías, imágenes satelitales y modelos digitales de elevación (DEM), estimar el cambio del terreno entre los años 1989 y 2015, así como el volumen removido por procesos de deslizamiento de material entre los años 2006 y 2010 en la vía localizada entre el municipio de Buenavista y la Vereda El Carmen, mediante la aplicación y uso de herramientas e insumos gratuitos.

1. LOCALIZACIÓN

El departamento del Meta se encuentra ubicado en la parte centro-oriental del país presentando características tectónicas, litológicas, geomorfológicas y climáticas que lo hacen susceptible a amenazas naturales tales como alta sismicidad (Figura 1), concentración de procesos de remoción en masa (Figura 2) e inundaciones intensas debido a sus periodos prolongados de invierno, generando colmatación de cauces y ríos que drenan la zona, además, se divide en dos regiones orográficas: la región montañosa (cordillera oriental) y piedemonte contiguo así como a la Serranía de la Macarena. Esta condición geomorfológica permite clasificar el departamento en diferentes paisajes como son: Pie de monte, abanicos aluviales, llanuras aluviales, terrazas y altillanuras, creando sitios de fácil erosión donde se presentan continuos deslizamientos, caída de rocas y reptación del suelo afectando la infraestructura vial del lugar (INGEOMINAS, 2001).

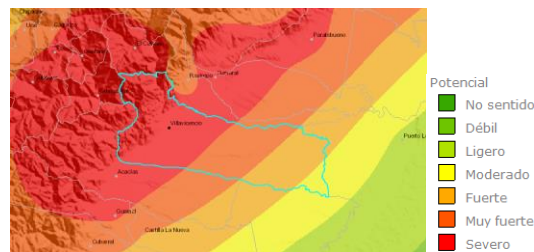


Figura 1. Zonificación Sísmica del Dpto. del Meta.
Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2015
(Colombiano, 2015)

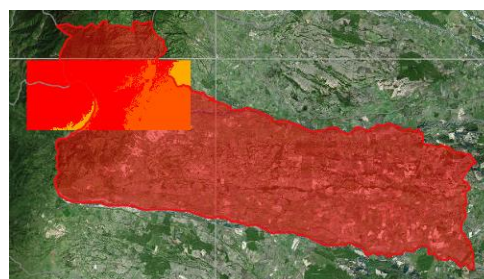


Figura 2. Mapa Nacional Amenaza por Movimientos en Masa
Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2015
(Colombiano, 2015)

El área de estudio se encuentra localizada en el Municipio de Villavicencio, en la vía que conecta a Buenavista con la Vereda El Carmen, con un área aproximada de 53000 m² (53 ha). A continuación (Figura 3), se presenta el área de estudio (año 2016) y su localización general (Figura 3) con respecto al municipio de Villavicencio:

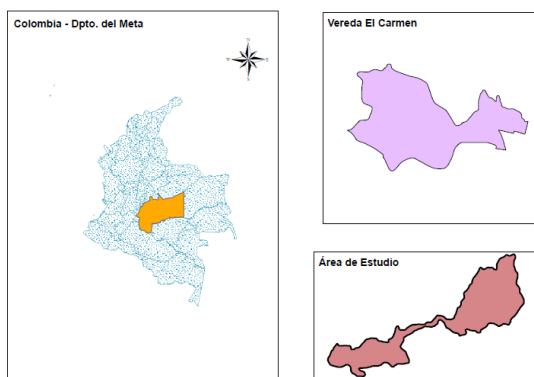


Figura 3. Localización General.
Fuente: Elaboración propia.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Como procedimiento inicial, se hizo una revisión de los trabajos realizados a nivel nacional e internacional, en los cuales se han empleado imágenes satelitales y

aerofotografías en análisis multitemporales en el seguimiento de procesos por remoción en masa, así como el uso de modelos digitales de elevación para estimar volúmenes.

El análisis multitemporal consiste en la aplicación de técnicas en elementos como imágenes satelitales o fotografías aéreas que permiten realizar una validación y estimación de los cambios que se puedan presentar en el terreno, como son los cambios en la cobertura vegetal, dinámica fluvial o, para evaluar el porcentaje de área afectado por un proceso de remoción en masa. Para realizar este análisis, se hizo una revisión de las imágenes satelitales LANDSAT disponibles para los años 1989 y 2015. De acuerdo con la información que se encuentra disponible en la página del servicio geológico de los Estados Unidos (USGS), se adquirieron las siguientes imágenes satelitales:

Landsat 5 TM, 23 de diciembre de 1989.

Tabla 1 Características Imagen Landsat 5 TM. Adaptado y recuperado de http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/doc/aspectos_tecnicos_de_imagenes_land_sat.pdf

MODO ESPECTRAL	RESOLUCIÓN				
	ESPACIAL (mt)	ESPECTRAL		RADIOMÉTRICA	TEMPORAL
Multiespectral	30	Banda 1	Azul	8 bits	16 días
		Banda 2	Verde		
		Banda 3	Rojo		
		Banda 4	Infrarrojo Cercano 1		
		Banda 5	Infrarrojo Cercano 2		
		Banda 7	Infrarrojo Medio		
Termal	120	Banda 6	Infrarrojo Térmico		

Landsat 8 OLI-TIRS, 26 de septiembre de 2015.

Tabla 2 Características imagen Landsat 8. Adaptado y recuperado de (Ariza, 2013)

MODO ESPECTRAL	RESOLUCIÓN			
	ESPACIAL (mt)	ESPECTRAL		RADIOMÉTRICA
Pancromática	15	Banda 8	Pancromática	12 bits
Multiespectral	30	Banda 1	Azul profundo	
		Banda 2	Azul	
		Banda 3	Verde	
		Banda 4	Rojo	
		Banda 5	Infrarrojo Cercano	
		Banda 6	SWIR - 1	
		Banda 7	SWIR - 2	
		Banda 9	Cirrus	
Térmica	100	Banda 10	Infrarrojo Térmico (TIRS) 1	16 días
		Banda 11	Infrarrojo Térmico (TIRS) 2	

Para realizar la estimación del cálculo de volumen de material removido por efectos de deslizamiento, se adquirieron dos DEM de diferentes épocas. Por efectos de resolución espacial, se emplearon los datos obtenidos por el sensor ALOS-PALSAR para el año 2007 y 2010 con una resolución espacial de 12.5 m.

Pre-Procesamiento Imágenes Landsat

Existen diferentes softwares que permiten la visualización y tratamiento de imágenes satelitales, permitiendo aplicar correcciones (para eliminar distorsiones y ruido) y realizar cálculos (clasificación, índices, etc.). Dado esto, para el procesamiento inicial de las imágenes Landsat 5 TM y Landsat 8, se empleó el programa PCI Geomatics (v. 2016). De acuerdo con la cronología establecida para el análisis multitemporal (1989 y 2015), se cargaron y revisaron los metadatos de cada insumo (fecha de adquisición, resolución espacial, ángulo de elevación solar, ángulo cenital, DATUM, número de bandas, tipo de sensor, entre otros).

Luego de validar la información del metadato en cada imagen, se procede a la eliminación de efectos por nubosidad y bruma (efectos atmosféricos) que pudieran estar presentes durante la captura de la imagen, mediante la

herramienta Top of the Atmosphere Reflectance en PCI Geomatics.

Procesamiento

Como se mencionó anteriormente, el área de estudio tiene 53 ha aproximadamente, razón por la cual se hace necesario editar las imágenes y modelos digitales de elevación. Para esto, y haciendo uso del software ArcGIS 10.3, se trazó el polígono del área de estudio y se generó un búfer de 1 km como se aprecia en la figura 6 a continuación:



Figura 6. Área de Estudio (53 Ha).
Fuente: Elaboración propia.

Con el shape base para la modificación de las imágenes satelitales, se hace el recorte de

éstas en PCI Geomatics, obteniendo imágenes de un tamaño adecuado con el área de estudio.



Figura 7. Imagen Landsat 8 – Procesada.
Fuente: Elaboración propia.

Para estimar el volumen de material removido por deslizamientos, se emplea el recorte de los modelos digitales de elevación adquiridos se hace con base en el shape del área de estudio (sin búfer), permitiendo la generación de las superficies (TIN) y cálculo de la diferencia entre superficies en ArcGIS.

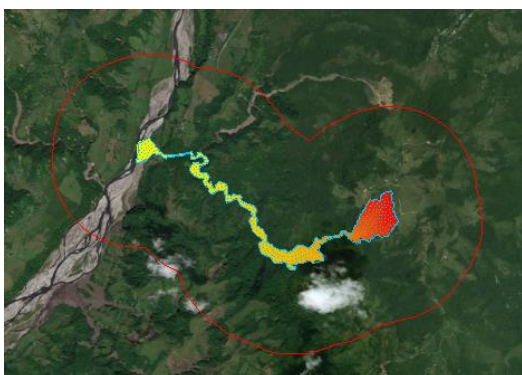


Figura 8. DEM (Año 2007) - Área de Estudio (53 ha).
Fuente: Elaboración propia.

3. RESULTADOS

El área de estudio evidencia afectación principalmente por procesos de “erosión remontante”, mostrando la expansión de la cárcava debido a la incisión fluvial que se presenta en zonas con un área de drenaje (como es el caso de estudio) generando suficiente escorrentía, lo cual crea canales

capaces de arrastrar materiales como gravas, rocas y vegetación. Otro factor que influye en el aumento del área removida es la pendiente del terreno y su incremento con cada proceso de remoción en masa a través del tiempo.

Al realizar la comparación entre la imagen Landsat 5 ETM del año 1989 y el polígono del área de la cárcava (año 2015), se evidencia un proceso de remoción en masa contiguo al área de estudio; este proceso, corresponde a la generación de una cárcava temporal, ya que al revisar las imágenes de los años siguientes no se presentó afectación o pérdida de material y vegetación en este sector de la montaña; mientras que, para el año 2015, en la cárcava seleccionada para este estudio se presenta vegetación densa sin índices de procesos evolutivos de deslizamientos.



Figura 9. Área de estudio (Polígono Verde) vs. Cárcava Temporal (1989) (Polígono Rojo)
Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el año en el cual se presenta el proceso de remoción en masa de la cárcava, se hizo una revisión de las imágenes disponibles para los años 2000, 2005, 2010 y 2015, teniendo como resultado que, a partir del año 2010 el proceso de remoción en masa es de carácter evolutivo, generando aumento en el área, pendiente, profundidad en la incisión fluvial y pérdida de cobertura. En la figura 10 se puede observar el proceso evolutivo y temporal de las dos cárcavas (1989 y 2015).

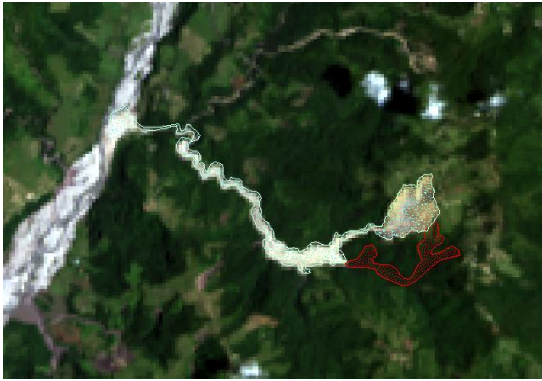


Figura 10. Cárcava (2015) vs. Cárcava Temporal (1989) (Polígono Rojo)
Fuente: Elaboración propia.

Para la estimación del volumen de material removido se hizo empleo el software ArcGIS, en el cual, se hizo el cálculo de desplazamiento entre superficies. Este procedimiento permite realizar la comparación geométrica entre los triángulos de dos superficies de entrada (ESRI, 2016). Para el análisis gráfico de los resultados, la herramienta empleada (Surface difference) define tres categorías por defecto Above (Encima), Same (Igual) y Below (Abajo) lo que permite determinar a lo largo de la cárcava los

lugares específicos donde se presentó pérdida de material entre los años 2007 y 2010.

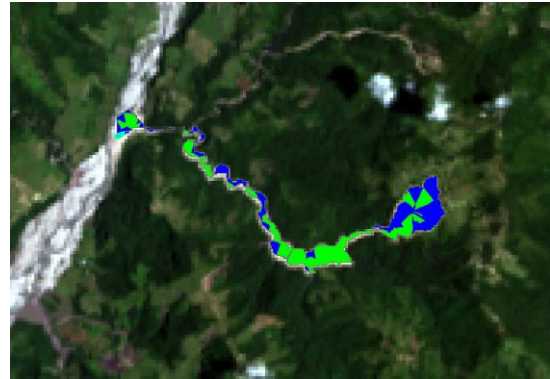


Figura 11. Diferencia de superficies.
Fuente: Elaboración propia.

Los polígonos categorizados tienen un código que permite evaluar qué áreas se encuentran por encima, son coincidentes o están por debajo de la superficie de referencia. Para el caso de estudio se generaron 71 polígonos, clasificados con el código -1, 0 y 1 teniendo en cuenta la descripción que se presenta en la tabla 3 a continuación:

Tabla 3 Clasificación de superficies. Adaptado y recuperado de (ESRI, 2016)

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
-1	Áreas donde la primera superficie está por debajo del plano de referencia.
0	La superficie es la misma que el plano de referencia.
1	La superficie está por encima del plano de referencia.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos al calcular la diferencia entre las superficies referentes a los años 2007 y 2010, teniendo en cuenta que el campo *Volume* hace referencia al volumen de espacio existente entre la superficie de entrada (2007) y de referencia limitada por el polígono y el campo *SArea* es el área de superficie de entrada limitada por el polígono (ESRI, 2016):

Tabla 4 Volumen total de áreas donde la primera superficie (2010) está por debajo del plano de referencia (2007). **Fuente:** Propia.

OID *	Volume	SArea	Code
1	338.5	783.1	-1
3	52.1	156.9	-1
5	662.0	2815.7	-1
6	25755.8	27895.8	-1
7	62573.2	34170.2	-1
10	7007.9	19096.7	-1
12	23552.5	9477.8	-1
14	105245.7	95506.0	-1
17	8750.0	9079.5	-1

26	10872.4	10992.4	-1
29	51.2	385.4	-1
33	1110.0	1613.3	-1
35	260.4	782.5	-1
41	902.8	1928.6	-1
45	3906.3	5007.3	-1
47	26.0	78.6	-1
54	520.8	786.4	-1
59	38520.7	16965.3	-1
60	153.4	383.8	-1
66	381.9	835.3	-1
69	160.8	757.6	-1
TOTAL (m3)	290804.6		

Tabla 5 Volumen total de áreas donde la superficie (2010) es la misma que el plano de referencia (2007). **Fuente:** Propia.

OID *	Volume	SArea	Code
9	0	625.0	0
15	0	78.1	0
16	0	78.1	0
18	0	625.0	0
19	0	156.3	0
30	0	156.3	0
31	0	156.3	0
37	0	390.6	0
40	0	625.0	0
42	0	156.3	0
43	0	78.1	0
46	0	156.3	0
50	0	468.8	0
56	0	156.3	0
58	0	78.1	0
61	0	156.3	0
62	0	1328.1	0
64	0	156.3	0
65	0	234.4	0
67	0	78.1	0
68	0	156.3	0
TOTAL (m3)	0.0		

Tabla 6 Volumen total de áreas donde la superficie (2010) está por encima del plano de referencia (2007). **Fuente:** Propia.

OID *	Volume	SArea	Code
2	238510.5	128847.7	1
4	2952.9	10935.2	1
8	520.8	1408.7	1

11	11990.7	12224.1	1
13	760.7	1910.0	1
20	52.1	156.9	1
21	26.0	78.6	1
22	338.5	939.4	1
23	3333.3	2658.3	1
24	241.4	474.8	1
25	7812.5	2817.8	1
27	26.0	78.6	1
28	299.5	666.4	1
32	3515.1	2918.2	1
34	312.5	313.7	1
36	390.6	469.9	1
38	1914.1	4580.2	1
39	52.1	156.9	1
44	15887.1	17248.1	1
48	2382.7	3186.9	1
49	11334.6	8162.8	1
51	52.1	156.9	1
52	2353.2	4940.8	1
53	1047.5	1103.6	1
55	112.8	108.4	1
57	54.9	193.2	1
63	52.1	156.9	1
70	39.1	117.7	1
71	26.0	78.6	1
TOTAL (m3)	51239.2		

Tabla 7 Resultados finales. **Fuente:** Propia.

RESULTADOS FINALES	
CODE	Volumen (m3)
-1	290804.616
0	0.000
1	51239.221

Con base en la categorización establecida por la herramienta que permite estimar el volumen removido por deslizamientos en la cárcava, se determina que, durante los años 2007 a 2010 el área de estudio perdió 290.804 metros cúbicos de material estratigráfico y vegetación.

4. CONCLUSIONES

En la actualidad, existen diferentes herramientas que permiten procesar las imágenes satelitales y cuantificar el volumen de material removido a partir de un DEM, como es el caso del software PCI Geomatics (2016) y el software ArcGIS 10.3 y su paquete de herramientas de análisis espacial en 3D.

Para llevar a cabo el desarrollo de la metodología presentada en este artículo, se hace necesario realizar un análisis multitemporal de cambios morfodinámicos presentes en la cobertura terrestre y recopilar información que permita identificar y cuantificar el sitio de interés. Para esto, es importante contar con imágenes satelitales y modelos digitales de elevación que tengan una resolución espacial óptima. Durante el desarrollo de este artículo y con base en el área seleccionada para establecer la metodología de trabajo, se emplearon imágenes satelitales landsat del año 1989 y 2015. Se pretendía hacer uso de una imagen landsat 7 tomada durante los años 2010 y 2011 como complemento del análisis sin tener el resultado esperado, ya que, para ese periodo de tiempo, las imágenes disponibles presentan efectos fuertes de bandeo, debido (posiblemente) a un fallo en el sensor (problemas de calibración), limitando el análisis al periodo de tiempo establecido 1989 y 2015.

En cuanto a la estimación del volumen de material removido por procesos de deslizamiento, se hizo una revisión de los modelos digitales del terreno disponibles y que tuvieran una resolución inferior a 30 metros (teniendo en cuenta que la cárcava tiene un área aproximada de 53 ha e identificar los detalles de altura con una resolución espacial de ese tipo no es recomendable); razón por la cual, los dem seleccionados pertenecen al sensor alos palar, ya que los datos de entrega cuentan con una resolución espacial de 12.5 metros, permitiendo así estimar un volumen de remoción en masa al emplear el software ArcGIS, el cual, permite realizar la comparación geométrica entre los triángulos creados en cada superficie, determinando las

contribuciones volumétricas en cada polígono (ver Tabla 7).

Cabe resaltar que, a través de los años y con los avances tecnológicos, se han desarrollado diferentes metodologías y estudios en el piedemonte llanero, ya sea para realizar análisis multitemporales o para estimar volumen de material removido por los procesos de remoción en masa presentes en la cordillera y su afectación en el territorio a corto, mediano o largo plazo.

Los resultados obtenidos durante el desarrollo de esta metodología dejan en evidencia la razón por la cual el municipio de Villavicencio está clasificado y categorizado como una de las zonas con mayor índice de susceptibilidad a sismos y amenaza por movimientos en masa debido a su condición geográfica, geomorfológica y climática, ya que al hacer una estimación del volumen de remoción en la cárcava da como resultado que por año el aporte de sedimentos a lo largo de la cárcava y desembocadura al río Guayuriba fue aproximadamente de 97.000 m³. Este fenómeno puede ser causa de diversos factores, pues en este sector del país existen diversas fallas geológicas y se presentan largos e intensos periodos de lluvia, debilitando la cobertura de los taludes que conforman el piedemonte llanero promoviendo la generación de grandes volúmenes de material removido que descienden por las laderas de la cordillera, aumentando la energía del flujo de transporte de material (debido al aumento de la pendiente y longitud). Adicional a esto, se produce socavación y profundización en las incisiones fluviales de las cárcavas, aumentando así el área de erosión remontante (retroceso de la cárcava hacia la corona del talud) y aporte de sedimentos en las corrientes de agua.

5. RECOMENDACIONES

- Para realizar análisis multitemporales específicos, es importante adquirir datos recientes de los sensores

remotos que permitan evaluar y determinar el estado actual del área de estudio.

- Monitoreo y seguimiento del sitio en lapsos de tiempo cortos por parte de especialistas (hidrología, geología, geotecnia), para controlar y mitigar cualquier situación que pueda presentarse, ya que en la parte superior del talud se identificaron viviendas y una vía terciaria que conduce a la Vereda El Carmen.

Leyva Pinto, T. (2011). *Metodología para la identificación y determinación de geoformas y sus principales variaciones temporales mediante el uso de sensores remotos. Caso Servita*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Taboada, A. D. (1998). Sismotectónica de Colombia: deformación continental activa y subducción. *Revistas Científicas Complutenses*, 118-120.

REFERENCIAS

Ariza, A. (2013). Productos LDCM - Landsat 8. En *Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission)* (págs. 9,10). Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Colombiano, S. G. (2015). *Amenaza Sísmica*. Obtenido de <http://srvags.sgc.gov.co>

ESRI. (2016). *ArcGIS for Desktop*. Obtenido de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-surface-difference-3d-analyst-works.htm>

ESRI. (2016). *ArcGIS Pro*. Obtenido de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/3d-analyst/surface-difference.htm>

INGEOMINAS. (2001). *Mapa geológico del departamento del Meta - Memoria explicativa*. Bogotá: Instituto de investigación e información geocientífica, minero-ambiental y nuclear.